

Заключение диссертационного совета МГУ.014.8
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук

Решение диссертационного совета от «23» июня 2026 г. № 12

О присуждении Красникову Дмитрию Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора химических наук.

Диссертация «Новые методы создания и модификации углеродных наноматериалов» по специальности 1.4.15. «Химия твердого тела» принята к защите диссертационным советом «14» апреля 2026 г., протокол № 3.

Соискатель Красников Дмитрий Викторович, 1990 года рождения, в 2012 году с отличием окончил специалитет факультета естественных наук Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» по специальности «Химия». В 2016 году Красников Д.В. защитил диссертацию «Формирование активных центров катализаторов в процессах синтеза многослойных углеродных нанотрубок с контролируемыми свойствами» на соискание кандидата химических наук по специальности 02.00.15 «Кинетика и катализ» в диссертационном совете Д 003.012.01 Института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН. С 2017 года по настоящее время работает в Лаборатории наноматериалов Центра фотоники и фотонных технологий Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий», занимая в настоящий момент должность доцента.

Диссертация выполнена в Лаборатории наноматериалов Центра фотоники и фотонных технологий Сколковского института науки и технологий.

Научный консультант:

Насибулин Альберт Галийевич – доктор технических наук, профессор РАН, Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Сколковский институт науки и технологий», профессор, директор центра;

Официальные оппоненты:

Коробов Михаил Валерьевич – доктор химических наук, профессор, ФГБОУ ВО Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет, профессор кафедры физической химии;

Окотруб Александр Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор, ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук (ИНХ СО РАН), заведующий лабораторией физикохимии наноматериалов, заведующий отделом химии функциональных материалов, главный научный сотрудник;

Димиев Айрат Маратович – доктор химических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», ведущий научный сотрудник НИЛ Материалы для зеленой энергетики, ведущий научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обоснован их высокой квалификацией и богатым опытом научной работы в области химии твердого тела, что подтверждается наличием публикаций в профильных высокорейтинговых журналах. Коробов Михаил Валерьевич является признанным специалистом в области физической химии и модификации углеродных наноматериалов. Окотруб Александр Владимирович является одним из отечественных лидеров в области синтеза углеродных нанотрубок и графена, а также созданию устройств на их основе. Димиев Айрат Маратович – ведет активную научную деятельность в области модификации и метрологии графена, его производных, а также углеродных нанотрубок.

Соискатель опубликовал более 130 научных статей, в том числе по теме диссертации 40 статей, все 40 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.4.15. «Химия твердого тела» и отрасли химических наук:

1. D.V. Krasnikov, B.Yu. Zabelich, V.Ya. Iakovlev, A.P. Tsapenko, S.A. Romanov, A.A. Alekseeva, A.K. Grebenko, A.G. Nasibulin. A spark discharge generator for scalable aerosol CVD synthesis of single-walled carbon nanotubes with tailored characteristics // Chemical Engineering Journal. –2019. – Vol. 372. – P. 462-470. – Импакт-фактор 13.2 (JIF). – Объем 1,0 п.л./ Доля участия 60%. – EDN: YYGEBM.
2. V.Ya. Iakovlev, D.V. Krasnikov, E.M. Khabushev, J.V. Kolodiazhaia, A.G. Nasibulin. Artificial neural network for controlled synthesis of single-walled carbon nanotubes by aerosol CVD

- method // Carbon. –2019. – Vol. 153. – P. 100-103. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 0,4 п.л./ Доля участия 50%. – EDN: YYTMEI.
3. A.P. Tsapenko, S.A. Romanov, D.A. Satco, D.V. Krasnikov, P.M. Rajanna, M. Danilson, O. Volobujeva, A.S. Anisimov, A.E. Goldt, A.G. Nasibulin. Aerosol-assisted fine-tuning of optoelectrical properties of SWCNT films // Journal of Physical Chemistry Letters. – 2019. – Vol. 10. – P. 3961-3965. – Импакт-фактор 4.6 (JIF). – Объем 0,5 п.л./ Доля участия 30%. – EDN: WYQLSE.
 4. E.M. Khabushev, D.V. Krasnikov, O.T. Zarembo, A.P. Tsapenko, A.E. Goldt, A.G. Nasibulin. Machine learning for tailoring optoelectronic properties of single-walled carbon nanotube films. // Journal of Physical Chemistry Letters. – 2019. – Vol. 10. – P. 6962–6966. – Импакт-фактор 4.6 (JIF). – Объем 0,5 п.л./ Доля участия 40%. – EDN: WHTBLS.
 5. V.Ya. Iakovlev, D.V. Krasnikov, E.M. Khabushev, A.A. Alekseeva, A.K. Grebenko, A.P. Tsapenko, B.Yu. Zabelich, J.V. Kolodiaznaia, A.G. Nasibulin. Fine-tuning of spark-discharge aerosol CVD reactor for single-walled carbon nanotube growth: the role of ex situ nucleation // Chemical Engineering Journal. –2020. – Vol. 383. – P. 123073. – Импакт-фактор 13.2 (JIF). – Объем 1,0 п.л./ Доля участия 50%. – EDN: MVMNRS.
 6. E.M. Khabushev, D.V. Krasnikov, J. Kolodiaznaia, A. Bubis, A.G. Nasibulin. Structure-dependent performance of single-walled carbon nanotube films in transparent and conductive applications // Carbon. –2020. – Vol. 161 – P. 712-717. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 0,6 п.л./ Доля участия 50%. – EDN: SJKEIA.
 7. D.S. Kopylova, D.A. Satco, E.M. Khabushev, A.V. Bubis, D.V. Krasnikov, T. Kallio, A.G. Nasibulin. Electrochemical enhancement of optoelectronic performance of transparent and conducting single-walled carbon nanotube films // Carbon. –2020. – Vol. 167. – P. 244-248. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 0,5 п.л./ Доля участия 30%. – EDN: OOVGKF.
 8. S.A. Romanov, A.A. Alekseeva, E.M. Khabushev, D.V. Krasnikov, A.G. Nasibulin. Rapid, efficient, and non-destructive purification of single-walled carbon nanotube films from metallic impurities by Joule heating // Carbon. –2020. – Vol. 168. – P. 193-200. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 0,9 п.л./ Доля участия 35%. – EDN: BTVHBV.
 9. E.M. Khabushev, J.V. Kolodiaznaia, D.V. Krasnikov, A.G. Nasibulin. Activation of Catalyst Particles for Single-walled Carbon Nanotube Synthesis // Chemical Engineering Journal. –2021. – Vol. 413. – P. 127475. – Импакт-фактор 13.2 (JIF). – Объем 0,9 п.л./ Доля участия 50%. EDN: OHVZOH.
 10. M.G. Burdanova, G.M. Katyba, R. Kashtiban, G.A. Komandin, E. Butler-Caddle, M. Staniforth, A.A. Mkrtchyan, D.V. Krasnikov, Y.G. Gladush, J. Sloan, A.G. Nasibulin, J. Lloyd-

Hughes. Ultrafast, high modulation depth terahertz modulators based on carbon nanotube thin films // Carbon. –2021. – V. 173. – P. 245-252. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 0,8 п.л./ Доля участия 20%. – EDN: RJQNSJ.

11. I.V. Novikov, E.M. Khabushev, D.V. Krasnikov, A.V. Bubis, A.E. Goldt A.G. Nasibulin Residence time effect on single-walled carbon nanotube synthesis in an aerosol CVD reactor // Chemical Engineering Journal. –2021. – Vol. 420. – P. 129869. – Импакт-фактор 13.2 (JIF). – Объем 1,1 п.л./ Доля участия 45%. – EDN: TKQFIB.

12. E.M. Khabushev, D.V. Krasnikov, A.E. Goldt ,E.O. Fedorovskaya, A.P. Tsapenko, Q. Zhang, E.I. Kauppinen, T. Kallio, A.G. Nasibulin. Joint effect of ethylene and toluene on carbon nanotube growth // Carbon. –2022. – Vol. 189. – P. 474-483. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 1,1 п.л./ Доля участия 50%. – EDN: QEOVGK.

13. A.K. Grebenko, D.V. Krasnikov, A.V. Bubis, A. Aitkulova, A.A. Alekseeva, E. Gilshtein, A.G. Nasibulin, V.S. Stolyarov, Z. Bedran, L. Alyabyeva, B.P. Gorshunov, R.N. Mozhchil, A.M. Ionov, D.V. Vyalikh, A.A. Makarova, A. Fedorov, A.N. Shmakov, K. Laasonen, V. Podzorov. High-Quality Graphene Using Boudouard Reaction // Advanced Science. –2022. – Vol. 9. – P. 2200217. – Импакт-фактор 14.1 (JIF). – Объем 1,4 п.л./ Доля участия 40%. – EDN: CFEIYD.

14. A.K. Grebenko, G. Drozdov, Y. Gladush, I. Ostanin, S.S. Zhukov, E. Khabushev, A.P. Tsapenko, D.V. Krasnikov, B. Afinogenov, A.G. Temiryazev, S. Kuznetsov, N. Nikolayev, V.V. Dremov, T. Dumitrică, M. Li, H. Hijazi, V. Podzorov, L.C. Feldman, A.G. Nasibulin. Local ultra-densification of SWCNT films: modeling and experiment // Carbon. –2022. – Vol. 96. – P. 979-987. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 1,0 п.л./ Доля участия 30%. – EDN: UJYGLP.

15. J.A.B. Ramirez, D.V. Krasnikov, V.V. Gubarev, I.V. Novikov, V.A. Kondrashov, A.V. Starkov, M.S. Krivokorytov, V.V. Medvedev, Y.G. Gladush, A. G. Nasibulin. Renewable Single-Walled Carbon Nanotube Membranes for Extreme Ultraviolet Pellicle Applications // Carbon. –2022. – Vol. 198. – P. 364-370. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 0,8 п.л./ Доля участия 60%. – EDN: RPOGOL.

16. D.M. Mitin, A.A. Vorobyev, A.V. Pavlov, Yu.S. Berdnikov, A.M. Mozharov, S.A. Raudik, V. Mikhailovskii, J.A.B. Ramirez, D.V. Krasnikov, D.S. Kopylova, D.A. Kirienko, M.Ya. Vinnichenko, Firsov D.A., R.G. Polozkov, A.G. Nasibulin, I.S. Mukhin. Tuning the Optical Properties and Conductivity of Bundles in Networks of Single-Walled Carbon Nanotubes// Journal of Physical Chemistry Letters. – 2022. – Vol. 13. – P. 8775-8782. – Импакт-фактор 4.6 (JIF). – Объем 0,8 п.л./ Доля участия 30%. – EDN: OMREZK.

17. D.V. Krasnikov, E.M. Khabushev, A. Gaev, A.R. Bogdanova, V.Ya. Iakovlev, A. Lantsberg, T. Kallio, A.G. Nasibulin. Machine Learning Methods for Aerosol Synthesis of Single-walled Carbon

- Nanotubes // Carbon. –2023. – Vol. 202. – P. 76-82. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 0,8 п.л./ Доля участия 65%. – EDN: SQWIWJ.
18. G. M. Katyba, N. I. Raginov, E. M. Khabushev, V. A. Zhelnov, A. A. Gorodetsky, D. A. Ghazaryan, M. S. Mironov, D. V. Krasnikov, Y. G. Gladush, J. Lloyd-Hughes, A. G. Nasibulin, A. V. Arsenin, V. S. Volkov, K. I. Zaytsev, M. G. Burdanova. Tunable THz flat zone plate based on stretchable single-walled carbon nanotube thin film // Optica. –2023. – Vol. 10. – № 1. – P. 53-61. – Импакт-фактор 8.5 (JIF). – Объем 1,0 п.л./ Доля участия 25%. – EDN: YGXPZD.
19. M.I. Paukov, V.V. Starchenko, D.V. Krasnikov, G.A. Komandin, Y.G. Gladush, J. Lloyd-Hughes, S.S. Zhukov, B.P. Gorshunov, A.G. Nasibulin, A.V. Arsenin, V.S. Volkov, M.G. Burdanova. Ultrafast opto-mechanical terahertz modulators based on stretchable carbon nanotube thin films // Ultrafast Science. –2023. – Vol. 3. – P. 0021. – Импакт-фактор 9.9 (JIF). – Объем 1,0 п.л./ Доля участия 25%. – EDN: DFIRVZ.
20. T.N. Kurtukova, D.S. Kopylova, N.I. Raginov, E.M. Khabushev, D.V. Krasnikov, A.G. Nasibulin. Plasma-treated Carbon Nanotubes for Ultrafast Infrared Bolometers // Applied Physics Letters. –2023. – Vol. 122. – P. 093501. – Импакт-фактор 3.6 (JIF). – Объем 0,7 п.л./ Доля участия 35%. – EDN: ONSACB.
21. A.R. Bogdanova, D.V. Krasnikov, E.M. Khabushev, J.A. Ramirez B., A.G. Nasibulin. Bithiophene as a Sulfur-Based Promotor for the Synthesis of Carbon Nanotubes and Carbon-Carbon Composites // International Journal of Molecular Sciences. –2023. – Vol. 24. – P. 6686. – Импакт-фактор 4.9 (JIF). – Объем 0,8 п.л./ Доля участия 50%. – EDN: GTAEAA.
22. A.R. Bogdanova, D.V. Krasnikov, A.G. Nasibulin. The role of sulfur in the carbon nanotube synthesis // Carbon. –2023. – Vol. 210. – P. 118051. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 2,0 п.л./ Доля участия 55%. – EDN: RWNDGS.
23. A.R. Bogdanova, D.V. Krasnikov, E.M. Khabushev, J.A. Ramirez B., Y.E. Matyushkin, A.G. Nasibulin. Role of hydrogen in carbon nanotube growth // Nanomaterials. –2023. – Vol. 13. – P. 1504. – Импакт-фактор 4.4 (JIF). – Объем 1,3 п.л./ Доля участия 45%. – EDN: VZALYO.
24. A.A. Alekseeva, D.V. Krasnikov, G.B. Livshits, S.A. Romanov, Z.I. Popov, A.V. Bubis, L.A. Varlamova, E.V. Sukhanova, A.S. Klimovich, P.B. Sorokin, S.V. Savilov, A.G. Nasibulin. Films enriched with semiconducting single-walled carbon nanotubes by aerosol N2O etching // Carbon. – 2023. – Vol. 212. – P. 118094. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 1,0 п.л./ Доля участия 50%. – EDN: NPJZTQ.
25. A. Pavlov, D. Mitin, A. Vorobyev, S. Raudik, Y. Berdnikov, A. Mozharov, V. Mikhailovskii, D.V. Krasnikov, D. Kopylova, R. Polozkov, A.G. Nasibulin, I. Mukhin. Conductivity-Based Approach to Estimate Average Bundle Length in Randomly Oriented Network of Single-Walled

- Carbon Nanotubes // *Applied Physics Letters*. –2023. – Vol. 123. – P. 011904. – Импакт-фактор 3.6 (JIF). – Объем 0,6 п.л./ Доля участия 30%. – EDN: FPIFXZ.
26. D.A. Ilatovskii, D.V. Krasnikov, A. Goldt, S. Mousavihashemi, J. Sainio, A.A. Alekseeva, S.Y. Luchkin, Z.S. Vinokurov, A.N. Shmakov, A. Elakshar, T. Kallio, A.G. Nasibulin. Robust Method for Uniform Coating of Carbon Nanotubes with V₂O₅ for Next-Generation Transparent Electrodes and Li-ion Batteries // *RSC Advances*. –2023. – Vol. 13. – P. 25817-25827. – Импакт-фактор 4.6 (JIF). – Объем 1,2 п.л./ Доля участия 50%. – EDN: OKTKGM.
27. I.V. Novikov, D.V. Krasnikov, V.S. Shestakova, I.P. Rogov, V.A. Dmitrieva, A.E. Goldt, T. Kallio, A.G. Nasibulin. Boosting CO-based synthesis of single-walled carbon nanotubes with hydrogen // *Chemical Engineering Journal*. –2023. – Vol. 476. – P. 146527. – Импакт-фактор 13.2 (JIF). – Объем 1,2 п.л./ Доля участия 50%. – EDN: NVINPI.
28. S.I. Serebrennikova, D.S. Kopylova, Y. Gladush, D.V. Krasnikov, S. Mailis, A.G. Nasibulin. Photogating interfacial effects in carbon nanotube-based transistors on Si/SiO₂ substrate toward highly sensitive photodetection // *Nanoscale*. –2023. – Vol. 15. – P. 19351-19358. – Импакт-фактор 5.1 (JIF). – Объем 0,9 п.л./ Доля участия 25%. – EDN: RQUGLD.
29. I.V. Novikov, D.V. Krasnikov, E.M. Khabushev, V.S. Shestakova, Y.E. Matyushkin, T. Kallio, A.G. Nasibulin. A new method for evaluation of nanotube growth kinetics in aerosol CVD // *Carbon*. –2024. – Vol. 217. – P. 118589. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 1,1 п.л./ Доля участия 45%. – EDN: REXCRY.
30. J. Khongthong, N.I. Raginov, E.M. Khabushev, A.E. Goldt, V.A. Kondrashov, D.M. Russakov, S.D. Shandakov, D.V. Krasnikov, A.G. Nasibulin. Aerosol doping of SWCNT films with p- and n-type dopants for optimizing thermoelectric performance // *Carbon*. –2024. – Vol. 218. – P. 118670. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 0,6 п.л./ Доля участия 40%. – EDN: NFPFNS.
31. D.A. Ilatovskii, D.V. Krasnikov, D.S. Kopylova, B.I. Afinogenov, A. Chernov, A.G. Nasibulin. Photophoretic Deposition and Separation of Aerosol-Synthesized Single-Walled Carbon Nanotubes // *Carbon*. –2024. – Vol. 218. – P. 118725. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 0,9 п.л./ Доля участия 50%. – EDN: CWVFNH.
32. I.V. Novikov, N.I. Raginov, D.V. Krasnikov, S.S. Zhukov, K.V. Zhivetev, A.V. Terentiev, D. Ilatovskii, A. Elakshar, E.M. Khabushev, A.K. Grebenko, S.A. Kuznetsov, S.D. Shandakov, B.P. Gorshunov, A.G. Nasibulin. Fast liquid-free patterning of SWCNT films for electronic and optical applications // *Chemical Engineering Journal*. –2024. – Vol. 485. – P. 149733. – Импакт-фактор 13.2 (JIF). – Объем 1,1 п.л./ Доля участия 40%. – EDN: EXUPEW.
33. A.V. Radivon, G.M. Katyba, N.I. Raginov, A.V. Chernykh, A.S. Ezerskii, E. Tsiplakova, I.I. Rakov, M.I. Paukov, V.V. Starchenko, A.V. Arsenin, I.E. Spector, K.I. Zaytsev, D.V. Krasnikov,

- N.V. Petrov, A.G. Nasibulin, V. Volkov, M.G. Burdanova. Expanding THz vortex generation functionality with advanced spiral zone plates based on single-walled carbon nanotube films // *Advanced Optical Materials*. –2024. – Vol. 12. – № 17. –P. 2303282. – Импакт-фактор 7.2 (JIF). – Объем 1,1 п.л./ Доля участия 20%. – EDN: SWNGVD.
34. E.M. Khabushev, D.V. Krasnikov, I.V. Novikov, A.E. Goldt, J. Sainio, S.S. Fedotov, T. Kallio, A.G. Nasibulin. High-Temperature Adsorption of Nitrogen Dioxide for Stable, Efficient, and Scalable Doping of Carbon Nanotubes // *Carbon*. –2024. – Vol. 224. – P. 119082. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 0,9 п.л./ Доля участия 40%. – EDN: MMDCME.
35. S. Mousavihashemi, E.M. Khabushev, J. Lahtinen, A. R. Bogdanova, I.V. Novikov, J. Lahtinen, D.V. Krasnikov, A.G. Nasibulin, T. Kallio. A binder-free nickel-rich cathode composite utilizing low-bundled single-walled carbon nanotubes // *Advanced Materials Technologies*. –2024. – Vol. 9. – I. 14. – P. 2301765. – Импакт-фактор 6.2 (JIF). – Объем 1,2 п.л./ Доля участия 30%. – EDN: ZBOCOI.
36. D.V. Krasnikov, A.N. Marunchenko, E.A. Koroleva, V.A. Kondrashov, D.A. Ilatovskii, E.M. Khabushev, V.A. Dmitrieva, V.Ya. Iakovlev, D.S. Kopylova, A. Baklanov, S.D. Shandakov, A.G. Nasibulin. One-step dry deposition technique for aligning single-walled carbon nanotubes // *Chemical Engineering Journal*. –2024. – Vol. 498. – P. 155508. – Импакт-фактор 13.2 (JIF). – Объем 0,8 п.л./ Доля участия 60%. – EDN: ANSEXER.
37. I.V. Novikov, D.V. Krasnikov, I.H. Lee, E.E. Agafonova, S.I. Serebrennikova, Y. Lee, S. Kim, J.S. Nam, V.A. Kondrashov, J. Han, I.I. Rakov, A.G. Nasibulin, I. Jeon. Aerosol CVD Carbon Nanotube Thin Films: From Synthesis to Advanced Applications: A Comprehensive Review // *Advanced Materials*. –2025. – Vol. 37. – № 26. – P. 2413777. – Импакт-фактор 26.8 (JIF). – Объем 7,7 п.л./ Доля участия 40%. – EDN: NFUYSM.
38. J.A.B. Ramirez, D.V. Krasnikov, H.A. Butt, V.A. Dmitrieva, S.I. Serebrennikova, O.R. Trepalin, A.R. Vildanova, V.A. Kondrashov, A.E. Goldt, D.V. Dzhurinskiy, J.A. Baimova, R. Alexander, A. Kushal, K. Dasgupta, O. Akhavan, A.G. Nasibulin. Ethylene-induced welding of single-walled carbon nanotubes to enhance mechanical and optoelectronic properties // *Carbon*. – 2025. – Vol. 238. – P. 120230. – Импакт-фактор 11.6 (JIF). – Объем 1,2 п.л./ Доля участия 50%. – EDN: UEXPYJ.
39. M. Salehpoor, N.S. Khoteeva, A.K. Grebenko, N.I. Raginov, O.R. Trepalin, V.A. Dmitrieva, S.Yu. Luchkin, D.V. Krasnikov, A.G. Nasibulin. Graphene Visualization on non-conductive substrates with standard mechanical channels of atomic force microscopy // *Emergent Materials*. – 2025. — Vol. 8. – № 9. – P. 5241–5249. – Импакт-фактор 4.1 (JIF). – Объем 1,0 п.л./ Доля участия 40%. – EDN: FWCOPS.

40. J. Khongthong, N.I. Raginov, E.M. Khabushev, A.E. Goldt, V.A. Kondrashov, D.V. Krasnikov, A.G. Nasibulin. Key role of bundle size and defectiveness in single-walled carbon nanotubes for thermoelectric applications // *Surfaces and Interfaces*. –2025. – Vol. 69. – P. 106696. – Импакт-фактор 6.3 (JIF). – Объем 0,9 п.л./ Доля участия 40%. – EDN: QYIWIF

На диссертацию и автореферат поступило 11 дополнительных отзывов, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, которые можно квалифицировать как научные достижения. В частности, в рамках работы подробно исследован и оптимизирован метод химического осаждения из газовой фазы на поверхности аэрозольного катализатора для получения однослойных углеродных нанотрубок (ОУНТ) в виде тонких пленок на поверхности или в свободностоящем состоянии (мембрана). Впервые показано, что углеводородные фрагменты ферроцена, выступающего в качестве предшественника аэрозольного катализатора на основе железа, положительным образом влияют на активацию и рост ОУНТ. Обнаружено изменение механизма реакции Будуара на поверхности катализаторов на основе железа, в качестве причины которого обоснованно предложен фазовый переход между α -Fe и γ -Fe. На основании детального исследования температурной зависимости и влияния водорода предположено, что наиболее вероятной скоростью-лимитирующей стадией роста нанотрубок при температурах синтеза в 900°C и ниже является диффузия углерода в карбиде железа, а при более высоких температурах – разложение СО на поверхности γ -Fe. Впервые построена экспериментальная кинетическая кривая для данного типа реакторов, показана взаимосвязь скорости роста ОУНТ и дезактивации аэрозольного катализатора на основе железа. Впервые произведена интеграция методов машинного обучения в полупромышленную технологию синтеза однослойных углеродных нанотрубок в реакторах химического осаждения из газовой фазы на поверхности аэрозольного катализатора; показано, что ошибки оценок ключевых параметров синтеза нанотрубок сравнимы с экспериментальными погрешностями, а по результатам сравнительного анализа предложено использование искусственных нейронных сетей в качестве оптимального подхода. Предложены и развиты подходы по внедрению тандемных реакторов на основе установок

химического осаждения из газовой фазы на поверхности аэрозольного катализатора. Разработаны и предложены три способа модификации аэрозоля: селективное окисление (использование N_2O во втором реакторе позволило обогатить ансамбль ОУНТ полупроводниковой фракцией и повысить характеристики полевых транзисторов на их основе), функционализация (предложен оригинальный метод высокотемпературной адсорбции NO_2 для легирования ОУНТ, впервые в области сочетающий в себе все три ключевые характеристики: эффективность снижения сопротивления пленок, стабильность эффекта, прозрачность получаемого материала в видимом диапазоне) и распределение в другой фазе (смешение со взвешенными частицами аэрозоля катодного материала литий-ионных батарей позволило создать оригинальную методику производства катодных элементов без жидкостей и связующих). Показано, что использование резистивного нагрева позволяет очищать свободностоящие пленки ОУНТ как от внутренних загрязнителей (остатки железного катализатора), так и от частиц, осажденных впоследствии (Sn частицы). Предложенная методика характеризуется низким энергопотреблением и может быть применена для регенерации мембран для литографии в глубоком ультрафиолете. Предложена концепция многоуровневой настройки тонких пленок ОУНТ, включающая в себя «атомарный/молекулярный» (I), «супрамолекулярный» (II), уровень морфологии (III), а также внутри- (IV) и межплёночный (V) уровни. Каждый уровень представляет собой комбинацию элементов предыдущего уровня, но обеспечивает новые характеристики или возможности, недоступные для элементов предыдущего уровня по отдельности. Созданы оригинальные одностадийного сухого получения узоров пленок для производства линз и модуляторов для терагерцового (ТГц) диапазона (IV уровень), а также впервые предложен массив растягиваемых спиральных зонных пластин на основе тонких пленок ОУНТ на эластомере (V уровень) для использования в качестве ТГц активных оптических элементов. Разработан и успешно применен новый метод синтеза однослойного графена с использованием реакции Будуара (диспропорционирование CO). С помощью кинетического анализа процессов зародышеобразования зерен графена и их роста выявлены оптимальные параметры, позволяющие получить однослойные кристаллиты практически бездефектного графена размером до нескольких см. На основе экспериментальных и теоретических данных предположено что перестройка одной или нескольких ассоциированных с графеновым зерном молекул CO является

скорость-лимитирующей стадией, а также предложена модель зародышеобразования, объясняющая роль температуры и реагентов процесса.

Практическая ценность исследования заключается в том, что предложенные методы синтеза углеродных нанотрубок позволили получить рекордные в области результаты для прозрачных электродов и термоэлектрических генераторов. Заложенные в работе теоретические основы позволили масштабировать процесс для создания полупромышленных установок аэрозольного синтеза нанотрубок. Развитые в работе тандемные подходы являются технологичными и могут быть легко встроены в существующие методы аэрозольного синтеза нанотрубок. Развитые в рамках диссертации работы по созданию оптических линз и мембран являются значимыми для индустрии. Показанная возможность использования машинного обучения для ускоренной оптимизации синтеза является также одним из ключевых аспектов масштабирования технологий. Полученный метод синтеза графена на основе реакции Будуара отличается простотой (отсутствие вакуума, сложной пробоподготовки поверхности), а также возможностью получения исключительно однослойных монокристаллов, что обуславливает практическую значимость, которая подтверждается также патентами в области тандемных установок (Ru 2800380, WO2020176019), регенерации свободностоящих мембран нанотрубок (Ru 2023610318) и получения графена (WO2021002770A1, Ru 2757239 C1)

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Скорость-лимитирующими стадиями в процессе роста углеродных нанотрубок на поверхности аэрозольного катализатора на основе железа в ходе реакции Будуара в температурном диапазоне 800–1100 °C являются диффузия углерода в цементите (800–900 °C) и разложение CO на поверхности γ -Fe(900–1100 °C).
2. Технологии машинного обучения применимы для обработки результатов процесса синтеза ОУНТ и ускоренной оптимизации параметров процесса для роста эксплуатационных характеристик прозрачных проводников.
3. Тандемный подход позволяет произвести целенаправленную настройку свойств тонких пленок ОУНТ, полученных методом химического осаждения из газовой фазы на поверхности аэрозольного катализатора.
4. Метод по одностадийному созданию узоров углеродных нанотрубок позволяет получать устройства для специальных применений в оптике и электронике.

5. Дизайн и оптимизации компонентов и устройств на основе углеродных нанотрубок может производиться в рамках концепции о многоуровневом подходе.
6. Метод химического осаждения из газовой фазы на поверхности меди с помощью реакции Будуара позволяет получать однослойный графен с низкой дефектностью и контролируемым размером кристаллитов.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 1.4.15 – Химия твердого тела (отрасль науки: Химические) по пунктам:

П.1. Разработка и создание методов синтеза твердофазных соединений и материалов

П.2. Конструирование новых видов и типов твердофазных соединений и материалов.

П.3. Изучение твердофазных химических реакций, их механизмов, кинетики и термодинамики, в том числе зародышеобразования и химических реакций на границе раздела твердых фаз, а также топохимических реакций и активирования твердофазных реагентов.

На заседании «23» июня 2026 г. диссертационный совет принял решение присудить Красникову Д.В. ученую степень доктора химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 11 докторов наук по специальности 1.4.15 «Химия твердого тела», участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против - 1, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета МГУ.014.8

д.х.н., академик РАН Солнцев К.А.

Ученый секретарь диссертационного совета МГУ.014.8

к.х.н. Климашина Е.С.

«23» июня 2026 г.